

生体組織要素の音響特性計測法の開発研究

著者	大川井 宏明
号	2036
発行年	1988
URL	http://hdl.handle.net/10097/20237

氏 名（本籍）	おおかわ い ひろ あき 大 川 井 宏 明
学 位 の 種 類	医 学 博 士
学 位 記 番 号	医 第 2 0 3 6 号
学位授与年月日	昭 和 63 年 9 月 14 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当
最 終 学 歴	昭 和 51 年 3 月 東北大学工学部通信工学科卒業

学 位 論 文 題 目 生体組織要素の音響特性計測法の開発研究

	(主 査)	
論文審査委員	教授 田 中 元 直	教授 高 橋 徹
	教授 松 沢 大 樹	

論文内容要旨

1. 目 的

医学領域における超音波の応用の新しい展開を計るためには、生体組織のもつ音響学的性質（以下、音響特性）を正常および病的状態を含めて解明すること（Tissue characterization：TC）が必要である。TCを発展させるためには、組織を構成している組織要素のレベル、すなわち微視的構造のレベルまで掘下げて解明することが重要となる。しかし従来、組織要素のレベルにおける音響特性を計測しうる診断装置あるいは計測器は現存しなかったので、本研究ではこのような計測を可能にするような計測システム（ハード面）および計測法（ソフト面）を開発することを目的とした。

2. 開 発 方 針

計測システムの開発においては次の性能を備えるようにした。①単に imaging 機能だけでなく音響特性の定量計測を行い得ること、②組織要素の音響特性が定量的に認識でき、要素の分布状況が観測できる2次元表示を行い得ること、および、③画面構成時間が短いことである。次に、本システムを用いた音響特性（減衰定数と音速）の計測法の開発においては厚み約10 μm の切片試料を対象とした。この計測には正確な試料の厚み情報が不可欠であるが、試料は薄く柔らかいために厚み計測が容易でないこと、計測は1回で済ます必要があることの問題があった。そこで、組織を通った超音波の減衰と位相の変化の周波数特性を利用し、組織の正確な厚み、減衰定数および音速を非接触的に決定する手法について検討した。最後に、本計測手法を画像処理に応用し、振幅と位相の原画像データを減衰定数像と音速像として表示する手法について検討した。

3. 結 果 と 考 察

(1) ハード面 imaging 機能については周波数が100–200 MHzで、音響レンズによって焦点におけるビーム幅が10 μm になるように集束させた超音波を用い、ビームを走査しながら4 μm 間隔で送受信を行い、受波を検波し映像信号に変換することで、組織要素を区別して描写できる結果が得られた。定量計測については、④超音波ビームの走査系、超音波の送受信系およびアナログ信号の処理系の精度を向上させたこと、⑤調整を容易にしたこと、⑥周波数を可変にしたこと、⑦6ビットA/D変換器によりデジタル化したこと、⑧画像メモリーとコンピュータからなる画像信号処理系を設けたこと、により実現した。さらにカラースケール表示により定量的2次元表示を行なう機能を備えた。画面構成時間の短縮については分割走査で実現した。基礎実験

の結果から本システムは組織要素の音響特性計測システムとして実用化の域に達したと判断された。

(2) ソフト面 従来、TCは組織要素レベルにおいても試みられていたが、試料の正確な厚み計測が不可能であったことがTCの限界であった。本研究では、減衰と位相の周波数特性のパターンに対し音波の干渉を基にした解釈を適用し、パターン上の極大と極小の位置について、実測から求めたパターンと理論計算から求めたモデルパターンとを比較することにより、試料の厚みを非接触的に求める手法を実現した。この結果、1回の実験で正しい厚み、減衰定数および音速を求めることが可能になった。さらに原画像から全画素についての減衰定数と音速をコンピュータによる画像処理によって求めることを可能とした。その結果、組織要素の音響特性と分布状況を減衰定数像および音速像として表示することが可能となった。この表示においては減衰定数と音速の各レベルを複数の色に対応させた。それぞれ 0.25 dB/mm/MHz , 30 m/s または 0.2 dB/mm/MHz , 20 m/s のステップで区切った10色が、各組織要素の音響特性の差異を画像上で識別するために適当であった。以上のように、組織要素レベルのTCで問題であった厚み計測を可能にし、画像処理を行うことによりTCの研究方法を改良したと判断された。

(3) 組織の計測結果 カラースケール表示した像を用いて音響特性を計測した。犬心筋梗塞の例では、それぞれ細胞と細胞間質が主成分である心筋組織と膠原線維組織の部分と比較すると、後者は前者に比べ減衰定数がdB値で約2倍、音速値で $50-100 \text{ m/s}$ 大きいこと、線維組織部の値にはばらつきがあり、線維の分布が粗の部分は減衰定数と音速値が小さく、密の部分は2つの値が大きいことが示された。一方、細胞が主なる構成成分であるYS肝癌の例では、癌組織の部分は肝細胞組織の部分に比べ減衰定数は約半分、音速は約 30 m/s 小さいことが示された。このように、異なる組織要素は音響特性の差異として2次元像上に定量的に示された。

4. 結 論

本計測システムおよび計測法は組織要素レベルのTC研究用として実用化されたと判断される。本研究の成果に基き、種々の健常および病的組織についてデータを集積すること、およびTCの研究が今後の課題となる。

審 査 結 果 の 要 旨

超音波の医学応用をより一層発展せしめるためには、生体組織の超音波に対する応答あるいは生体組織構造の音響学的性質など、生体組織のもつ物理学的性質を明らかにしておくことが不可欠である。そのため、これまでに生体組織物性に関する研究は数多くなされてきているが、その大半は巨視的立場から組織塊としての物性ないし特性の計測に関するものであり、組織構造の音響的性質あるいは組織構成要素のもつ物性等、組織性状診断に必要な組織物性については測定法も乏しく、実測された資料もなく、その展開が強く望まれてきた。

そこで本研究では、まず微視的レベルで組織要素の音響特性を測定でき、かつ組織特性を2次元カラー映像化により表示することのできるシステムの考案、開発を行い、ついで開発されたシステムを用いて定量的に音速、減衰定数等の組織物性を高精度で測定する方法を考案提示して、生体組織物性の計測法を実現せしめている。すなわち、Ⅰ) ミクロレベルで音響特性の定量計測ができる新しい方式として、①100MHz以上の超高周波超音波を用い、 $8\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ の分解能で組織構造を映像化する機能をもつとともに、組織要素を個々に区別して音響特性の定量計測を行い得ること、②組織要素の音響特性の2次元分布状況が観測できること、および③画面描写時間が可及的に短かく、実時間的であること、などの条件を充した超音波計測システムを実現した。Ⅱ) 組織要素の音速および減衰定数の分布状況を映像化するにあたって、2次元表示画像上で定量的認識と測定が可能のように、減衰定数値と音速値とを10色のカラースケールに当てはめて表示する画像処理方法を考案して導入している。ついで、Ⅲ) 測定方法論については軟組織を対象としたときに問題となる厚み測定法について、超音波の減衰量と位相偏移量が組織の厚み、音速および減衰定数に依存した周波数特性になることに注目して、非接触で厚み決定のできる新しい補正方法を提案し、モデルおよび生体組織を用いた実験によってその妥当性と精度を実証し実用性を証明している。これによって組織要素の音速と減衰定数を精度よく求めることを可能とした。Ⅳ) 上記システムを用いて心筋梗塞組織、癌組織などを対象とした測定例を提示し、これまで測定値の乏しかった組織要素の音速値および減衰定数を示すとともに、本方法論の実用性を証明している。

このように、本研究ではこれまで医学の領域で実用されていなかった新しい測定装置と測定方法論の提示を行っており、本研究の独創性は高く、また医学の発展に大きく寄与する研究であると評価でき、学位を授与されてしかるべきものと判断される。